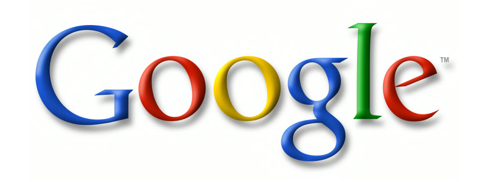






DES ACCIDENTS
PRODUITS PAR L'ÉLECTRICITÉ

DANS SON EMPLOI INDUSTRIEL

DES MOYENS DE LES PRÉVENIR

Projet de réglementation de l'emploi des courants électriques intenses dans les arts et l'industrie

PAR

M. le Dr E. GRANGE

Lauréat de la Faculté de médecine de Paris,
Directeur adjoint du Laboratoire d'histologie zoologique
de l'École des hautes études.

AVEC UNE PLANCHE CHROMOLITHOGRAPHIÉE



PARIS

LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS

19, rue Hautefeuille, près du boulevard Saint-Germain.

MDCCCLXXXV

1885, Sept. 29,
Gift of
Science Co.

DES
ACCIDENTS PRODUITS PAR L'ÉLECTRICITÉ
DANS SON EMPLOI INDUSTRIEL
DES MOYENS DE LES PRÉVENIR

Projet de réglementation de l'emploi des courants électriques intenses dans les arts et l'industrie

Par M. le Dr E. GRANGE
**Lauréat de la Faculté de médecine de Paris,
Directeur adjoint du Laboratoire d'histologie zoologique
de l'École des hautes études.**

Depuis quelques années l'électricité a conquis droit de cité dans l'industrie; ses applications sont devenues innombrables, et son emploi tend et tendra à se généraliser de plus en plus. C'est à ce point de vue qu'ayant eu connaissance de nombreux accidents produits par les courants électriques, nous avons commencé l'étude qui va suivre, — grâce à la bienveillance de M. le professeur Brouardel, qui a bien voulu nous communiquer les documents qu'il possédait sur la question, et à celle de M. le professeur Gariel, qui mettant libéralement à notre disposition le laboratoire de la Faculté, et usant de ses grandes relations dans le monde industriel, nous a permis d'atteindre une partie du but que nous nous étions proposé.

Nous n'avons pas l'intention de rapporter ici tous les récits d'accidents causés par les courants intenses destinés soit à alimenter des foyers lumineux électriques, soit à trans-

ardoisé, ses bords sont limités par un petit liséré blanchâtre, doublé en dehors par un autre liséré rougeâtre. Ces bords ne sont pas rectilignes, mais en zigzag sur toute l'étendue du sillon. L'épiderme se détache facilement. Il n'y a pas sur le derme de pointillé rouge, ni d'épanchement de sérosité.

Un peu plus haut que ce sillon, on en voit un second, plus petit et moins large, long de 7 centimètres environ et partant du bord de l'hélix pour se diriger en avant au-dessous de l'apophyse externe du frontal. Le lobule de l'oreille gauche est légèrement atteint. Ce petit sillon présente le même aspect et la même coloration que le précédent, seulement ses bords sont moins nets et ne sont pas limités par de petits lisérés blancs et rouges. A la main gauche se trouve une petite érosion grisâtre, au niveau du pli articulaire formé par l'articulation du cinquième métacarpien avec la première phalange du cinquième doigt. On constate une semblable érosion sur la partie moyenne de la face palmaire de la première phalange du quatrième doigt. Ces petites érosions sont constituées par une élevure un peu dure de l'épiderme qui est grisâtre et se détache facilement, elles ne sont pas doublées de sérosité. Sur la partie postérieure du coude droit et à la racine du nez il y a une petite plaque parcheminée.

A la pression du canal de l'urèthre on fait sourdre une goutte de sperme. Sous le cuir chevelu, on constate, au niveau de la bosse temporale gauche, une vaste suffusion sanguine et en arrière de la bosse temporale droite quelques ecchymoses.

Les os du crâne ne sont pas fracturés.

Le cerveau n'est pas congestionné, mais la surface des circonvolutions est molle et adhère aux méninges de façon qu'on ne peut les décortiquer sans en enlever une couche assez notable. La substance blanche est un peu pâteuse.

La trachée contient un peu de spume bronchique blanche. Les poumons présentent des adhérences pleurales à droite. La plèvre du poumon gauche est criblée par de nombreuses ecchymoses sous-pleurales. Les poumons sont très congestionnés et peu crépitants.

Le péricarde renferme un peu de sérosité. Il y a quelques petites ecchymoses sous-péricardiques, près des sillons vasculaires. Le cœur est rempli de sang liquide rutilant, couleur vermillon rosé. Au contact de l'air, la couleur du sang ne tarde pas à devenir plus foncée.

Dans l'artère pulmonaire se trouve un petit caillot sanguin mou et rouge. L'aorte est remplie de sang liquide. Les valvules sont saines.

La cavité abdominale renferme un peu de sérosité.

Le foie et la rate sont sains.

Les reins sont un peu congestionnés, cependant ils paraissent sains et se décortiquent très bien.

L'estomac renferme quelques grammes de matières alimentaides. Sa muqueuse présente un petit piqueté blanchâtre et les veines sont très injectées. Les intestins ont en certains endroits une teinte légèrement violacée. A ce niveau, la muqueuse intestinale est un peu rougeâtre et les follicules clos très apparents.

Nous avons recueilli dans des tubes du sang contenu dans le cœur pour le soumettre à l'examen spectroscopique. Cet examen nous a donné des raies normales du sang oxygéné, réductible par le sulfhydrate d'ammoniaque.

Conclusions. — 1° Les lésions notées à l'autopsie du cadavre du jeune Martin (Émile) sont celles que l'on trouve après les convulsions provoquées par lésion du bulbe.

2° Les sillons notés sur la face ont été produits par une décharge électrique d'une grande puissance.

3° La mort est le résultat de cette décharge électrique. Elle a dû être foudroyante et avoir pour cause immédiate l'arrêt du cœur.

Voici maintenant le rapport (1) sur l'autopsie du soldat Kenarec, la seconde victime, autopsie faite à l'hôpital militaire du Gros-Caillou par M. le Dr Bourrot.

L'autopsie est faite quarante-trois heures après la mort.

Le cadavre est celui d'un sujet vigoureux, bien musclé, d'une taille de 1m,65. La face est pâle, les oreilles vivement congestionnées et marbrées de taches noirâtres qu'on retrouve disséminées sur le reste du corps. Ces taches existaient quelques heures après la mort et ne paraissent point le résultat de la décomposition cadavérique. La rigidité cadavérique, très prononcée jusqu'à la trentième heure, a maintenant presque tout à fait disparu.

On ne trouve sur le corps aucune trace de blessure : les mains seules présentent des particularités intéressantes à noter : sur la main gauche on trouve cinq traces de brûlures qui méritent la description suivante :

La première sur la face palmaire du pouce, un peu au-dessus du pli interphalangien, les autres, au nombre de quatre, sont placées

(1) Ce rapport nous a été communiqué par M. le professeur Brouardel.

sur chacun des derniers doigts, un au-dessous du pli phalango-phalangien, elles sont allongées, transversales et parallèles à ces plis ; elles sont situées sur le trajet d'une même ligne et présentent à peu près les mêmes dimensions, c'est-à-dire 2 millimètres de largeur sur 6 millimètres de longueur. La main droite porte des lésions semblables, mais autrement disposées ; on trouve une brûlure sur le pouce, à la face externe, un peu au-dessus du pli articulaire ; elle est un peu plus profonde que les précédentes et revêt une couleur noirâtre à son centre ; elle est aussi un peu moins régulière et revêt la forme d'une ligne brisée de 2 millimètres de large sur 5 millimètres de longueur. Cinq autres brûlures sont groupées à la partie inférieure de l'éminence hypothénar. Celles-ci sont à peine larges comme des lentilles, blanchâtres. Quatre d'entre elles font groupe autour de l'extrémité interne du pli palmaire inférieur, la dernière est placée en face de l'annulaire gauche.

Toutes ces brûlures ne dépassent pas le derme. Toutes sont blanchâtres et sèches; cependant sur celles de la main droite, on enlevait le derme ; on constate un peu de sérosité citrine à la face inférieure.

Organes thoraciques. — Le *poumon* est retenu par quelques adhérences pleurales en arrière et au sommet des deux côtés, il n'y a point de liquide dans la cavité de la plèvre et il n'y a point d'ecchymose sous la séreuse. Les deux poumons sont très congestionnés et gorgés de sang noirâtre, non coagulé ; à mesure qu'on sectionne l'organe, on remarque que le sang noir devient rouge au contact de l'air.

Le *cœur* présente une assez grande quantité de graisse dans les plis inter-auriculaires et inter-ventriculaires ; il n'y a point de liquide épanché dans le péricarde. Les cavités de l'organe, oreillettes et ventricules, sont complètement vides : le ventricule droit est flasque, affaissé : le ventricule gauche est remarquable par le durcissement de ses parois qui semblent avoir été immobilisées pendant la période systolique du cœur ; la cavité ventriculaire paraît rétrécie, elle est complètement vide ; aucun caillot, ni dans l'aorte, ni dans l'artère pulmonaire.

Le *foie* pèse 1,600 grammes, il est congestionné ainsi que la rate et les reins, ces viscères ne présentent rien d'anormal dans leur parenchyme.

L'*estomac*, lié au pylore et au cardia, c'est-à-dire enlevé avec son contenu, pèse 1,250 grammes ; son contenu est composé de matières alimentaires, et notamment d'une certaine quantité de vin qu'on peut évaluer à un litre environ. L'*intestin* renferme une cer-

taine quantité de matières alimentaires, le gros intestin contient des matières fécales : il n'y a pas eu d'évacuation au moment de l'accident. Les parois de l'estomac et des intestins ne sont pas contractées, mais au contraire flasques et sans rigidité aucune.

Il en est de même des parois vésicales qui sont molles et contiennent 150 à 200 grammes d'urine limpide et transparente. Nous ne trouvons pas de sperme dans le canal de l'urèthre et il ne paraît pas y avoir eu d'éjaculation ; le corps spongieux de l'urèthre, le gland sont un peu congestionnés, les corps caverneux sont flasques et vides.

L'encéphale est très congestionné à la périphérie, il s'écoule une grande quantité de sang à l'ouverture des sinus. La pie-mère contient un lacis veineux à l'état d'hypercongestion. Il n'y a pas de quantité anormale de liquide, ni dans la cavité, ni dans l'espace sous-arachnoïdien. Point de sang extravasé. Les ventricules cérébraux sont vides ; les coupes faites sur le cerveau, le cervelet, la protubérance ne révèlent rien de particulier. Le piqueté vasculaire normal paraît peu exagéré, ce qui contraste avec la congestion extrême des parties périphériques. Les mêmes observations sont faites sur le bulbe et sur la moelle épinière enlevée dans toute son étendue.

Conclusions. — Les brûlures des mains ont été produites par le fil électrique. Le soldat Kenarec est probablement mort par arrêt du cœur résultant lui-même d'une excitation violente du pneumogastrique ; l'arrêt n'a pas été définitif au moment même de l'accident, mais le cœur n'a pu reprendre ses fonctions et consécutivement à cette gêne de plus en plus marquée s'est produite la congestion asphyxique trouvée dans tous les viscères, notamment dans les centres nerveux.

Pour permettre au lecteur de se rendre un compte exact de la façon dont cet accident s'est produit, nous ne saurions mieux faire que de reproduire *in extenso* le rapport adressé au parquet du Tribunal de la Seine, par M. le professeur Gariel, dont l'autorité ne fait de doute pour personne.

Description des lieux. — Nous nous sommes transporté sur les lieux et nous avons constaté ce qui suit : Le lieu où se sont produits les accidents ayant amené la mort des sieurs Martin (Émile) et Kenarec (Joseph), est le saut-de-loup qui sépare l'ancien jardin réservé du jardin des Tuileries dans la partie comprise entre la

Seine et l'allée centrale. Ce fossé, ou saut-de-loup, rectiligne sur une partie de sa longueur, présente un angle rentrant, puis se continue par un quart de circonférence qui aboutit à l'allée centrale.

Le fossé, du côté du jardin réservé, présente un talus assez raide (45° environ), recouvert d'un gazon qui fait suite aux parterres gazonnés existant dans le jardin réservé et aux massifs d'arbres et d'arbustes, parterres et massifs d'une largeur de plus de 10 mètres au droit de la partie où se sont produits les accidents.

Lors de notre visite, la partie gazonnée en talus présentait des traces très nettes de dégâts produits par le piétinement de personnes ayant descendu ou gravi ce talus. Le talus gazonné n'aurait pas été arrosé le 6 août, jour de l'accident, paraît-il; mais il importe de noter que, après les temps humides que nous venons de traverser, ce gazon ne pouvait être complètement sec.

Le fond du fossé, d'une largeur de 1 mètre, est constitué par de la terre légèrement battue, mais dont la surface avait été récemment ratissée lors de notre visite. Au-dessous du sol, dans la longueur du fossé, règne un égout de dimensions suffisantes pour donner passage à un homme. Dans cette galerie, vers la partie supérieure, est suspendue une conduite métallique.

Enfin un regard, recouvert par une plaque en fonte à jour, existe à l'extrémité de la partie rectiligne, proche le côté qui contribue à former l'angle rentrant.

La seconde face du fossé est constituée par un mur vertical en maçonnerie, d'une hauteur de $1^m,90$, présentant, de distance en distance, des parties avancées correspondant aux piédestaux des statues qui existent dans le jardin. A mi-distance, entre ces avancées, se trouvent des descentes d'eau en métal, terminées à leur partie supérieure par une cuvette ouverte. Les cuvettes se terminent au-dessous de la corniche qui limite le mur. Enfin, en arrière, du côté du jardin des Tuileries et en retrait de $0^m,30$ sur l'arête du bandeau, règne dans toute sa longueur une balustrade métallique de 1 mètre de hauteur, fixée dans l'asise de pierre qui forme le couronnement du mur par des montants métalliques espacés de 2 mètres.

Du côté de l'allée centrale, vers le point où se termine le fossé, des clôtures en fil de fer existent pour empêcher la descente du public dans le saut-de-loup. Ces clôtures sont détériorées comme si elles avaient été soumises à l'action d'une foule pressée.

Les fils servant à la transmission de l'électricité sont au nombre de deux : d'une part ils aboutissent près de l'allée centrale, à

un chevalet élevé, dressé dans le jardin des Tuileries; d'autre part ils s'élèvent vers un arbre où ils sont fixés par des isolateurs, puis se dirigent vers un autre poteau.

Aux deux extrémités, dans la partie descendante, les fils sont garnis, recouverts de matières isolantes conformes à la partie qui a été saisie. Ces fils sont ensuite placés horizontalement sur la face du mur, au-dessous du bandeau, et sont maintenus en place par des cordelettes attachées de distance en distance aux montants de la balustrade, et cela jusqu'à une certaine distance des points où ils ont pris la direction horizontale, de chaque côté. Dans la partie moyenne, celle où se sont produits les accidents, il convient d'examiner en détail les dispositions qu'ils présentent.

L'un des fils continue à être garni, isolé dans toute sa longueur : il est fixé au sommet de l'angle rentrant que nous avons signalé, puis de là se dirige vers un point voisin de la descente d'eau; dans cette étendue il est lâche et décrit par son poids une courbe à concavité supérieure, de telle sorte qu'il arrive à toucher un des angles saillants du talus.

D'après la déposition de l'ingénieur de la maison Siemens, qui avait établi cette installation, le fil ne devait pas présenter de parties lâches; il devait suivre le nu du mur jusqu'au point où il était fixé, et de là se diriger rectilignement vers le sommet de l'angle rentrant. Ce point peut être considéré comme acquis; on a retrouvé en effet, après le fil garni, une cordelette placée au point où il devait être fixé après le montant de la balustrade et qui présentait des traces encore fraîches de rupture.

Le second fil cesse d'être garni vers l'extrémité de la partie circulaire; à partir de ce point, il est supporté par des isolateurs en porcelaine fixés d'une manière suffisamment solide par des liens en fil de fer. Ce fil a été saisi avec les isolateurs que l'on a fixés à leurs places respectives. Le fil était tendu assez fortement pour que, même par une très forte tension, il fût impossible de lui faire toucher les pièces métalliques (cuvette de descente d'eau) près desquelles il passait. A l'autre extrémité, il se continuait avec le fil garni.

Il ne paraît pas que ce fil ait subi de modifications dans sa position depuis son installation.

Conditions matérielles dans lesquelles les accidents ont eu lieu. — De l'examen des lieux, de la comparaison des dépositions faites par les témoins et du résultat des autopsies on peut concevoir, suivant nous, dans quelles conditions matérielles les accidents ont eu lieu.

1° Le nommé Kenarec était placé au sommet du talus, ou sur le talus près de l'angle rentrant. Il reçut un choc, une poussée ou fit un faux pas (peut-être était-il sous l'influence du vin) et descendit précipitamment et malgré lui le talus. Il rencontra alors le fil garni qui était tendu et qui, l'attrapant au milieu du corps, le fit tomber. Sous l'influence de cette secousse, la cordelette fut brisée, le fil devint lâche et Kenarec fut projeté en bas. Instinctivement il étendit les mains en avant, saisit le fil nu et reçut alors le choc électrique, ses pieds portant encore sur le talus. On pourrait penser que dans cette chute les pieds rencontrèrent la plaque de fonte située au pied du talus, mais je ne le crois pas, et les dépositions des témoins ne donnent pas de détails assez précis pour que l'on puisse apprécier exactement la manière dont la chute s'est produite.

2° Martin était dans le fossé et cherchait à s'élever de manière soit à voir dans le jardin, soit à y pénétrer. Ayant posé la main droite au sommet de la corniche ou sur le fil garni, il prit le fil nu de la main gauche et par le mouvement d'élévation qu'il chercha à se donner, approcha le fil de sa figure où se produisit une large brûlure. Il tomba sans doute aussitôt et le fil qu'il lâcha alla le frapper vers l'oreille, mais légèrement, n'étant plus maintenu par la main.

Il nous eût paru plus commode de concevoir que la main droite était posée sur la cuvette du tuyau de descente des eaux qui faisait une saillie. Mais, bien que les dépositions ne soient pas bien précises, il semble que la chute a eu lieu à quelque distance de ce tuyau.

Causes physiques de la mort des sieurs Martin et Kenarec. — Après avoir décrit la disposition des lieux et des conducteurs, et nous être rendu compte des conditions matérielles dans lesquelles ont dû se produire les accidents, il importe d'élucider la question plus spécialement au point de vue physique.

Il résulte des dépositions de l'ingénieur de la maison Siemens, M. Sappey, que le circuit dont faisait partie le fil qui a occasionné la mort des sieurs Kenarec et Martin, comprenait 12 lampes, actionnées par une machine à courants alternatifs placée dans la cour des Tuileries. Le nombre des lampes placées ainsi dans le circuit permet bien d'évaluer la différence *moyenne* de potentiel qui devait exister entre le fil d'aller et le fil de retour, différence qui devait être de 500 volts environ. La différence de tension entre l'un des fils au point considéré et le sol ou l'air ambiant doit être considérée comme approximativement égale en moyenne à la moitié de cette valeur, soit 250 volts. Mais il importe de remar-

quer que, dans les machines où le courant est produit par induction, la différence de potentiel ne conserve pas une valeur constante comme s'il s'agissait du courant fourni par une pile, mais passe par des valeurs alternativement maxima et minima, le maximum ayant nécessairement une intensité notablement supérieure à la moyenne.

La durée de la période de variation du courant est très courte, de telle sorte que, quelque faible que soit la durée du contact matériel, ce contact doit comprendre un maximum au moins, de telle sorte que la valeur de ce maximum serait intéressante à signaler, mais elle est inconnue d'une manière précise. Dans le cas des courants alternatifs, la différence de potentiel entre les valeurs absolues de deux maxima de sens contraires qui se succèdent à un très court intervalle de temps peut être regardée comme approximativement égale au double de la valeur absolue de l'un d'eux.

Quoi qu'il en soit, le contact s'est produit avec un fil, où circulait un courant correspondant à de l'électricité à un potentiel très supérieur à celui de l'espace ambiant.

Il est difficile de préciser le mode d'action de l'électricité. Y a-t-il eu une décharge statique? S'est-il produit un courant entre le fil et la terre? Y a-t-il eu à travers le corps des malheureux qui ont été tués une simple dérivation de courant?

Les deux premières hypothèses, sans être absolument inadmissibles, ne paraissent pas probables. On sait en effet, dans tous les ateliers où l'on emploie de puissants courants électriques, que l'on peut impunément toucher les conducteurs lorsqu'on est posé sur un sol qui sans être un isolant parfait est au moins un conducteur imparfait. Or, dans ce cas les conditions semblaient être analogues : le sol, surtout dans le cas de Martin, était sec ou à peu près et conséquemment mauvais conducteur. Nous ne croyons pas que la présence du tuyau métallique dans l'égout puisse avoir une influence appréciable. Pour Kenarec, le gazon était peut-être moins mauvais conducteur, mais il était à peu près sec cependant puisqu'il n'avait pas été arrosé : Nous avons déjà dit que nous ne pensions pas que les pieds de cet individu aient pu toucher la plaque de fonte du regard de l'égout pendant que ses mains tenaient le fil.

A l'appui de notre opinion il convient d'ailleurs de citer la déposition de Hubert (Charles), qui, placé également dans le fossé, a touché le fil nu avec la main : son bras a été rejeté en arrière par la commotion qu'il a ressentie, mais il n'a pas éprouvé d'autre accident.

Il faudrait donc admettre que la mort a été le résultat du pas-

sage d'une partie du courant à travers le corps mis en contact par deux points différents avec le fil nu.

Cette condition de double contact paraît s'être produite dans l'un et l'autre cas : il résulte en effet de l'autopsie que, chez le sieur Kenarec, les deux mains portent des traces nettes de brûlure ; et que, chez le sieur Martin, la joue, le cou et l'oreille, d'une part, ont été manifestement brûlés par le contact avec le fil, et que, d'autre part, la main gauche présentait une trace que l'on peut attribuer également à une brûlure.

Cette opinion à laquelle nous sommes ainsi conduit revient donc à admettre que la mort a été causée par la dérivation d'une partie du courant à travers le corps. L'intensité du courant dérivé ainsi produit n'a pu être qu'une faible fraction du courant total, car la résistance offerte au passage de l'électricité par les parties organisées traversées est énorme comparée à la résistance d'un fil de cuivre de six millimètres de diamètre et d'une longueur de quelques décimètres qui représente la distance comprise entre les points où la dérivation s'est établie. Mais il est loin d'être prouvé que, dans l'action de l'électricité sur les êtres organisés, ce soit l'intensité du courant, c'est-à-dire la quantité d'électricité, qui donne la mesure des actions effectuées. Peut-être même est-ce la chute de potentiel qu'il conviendrait de faire intervenir. Peut-être aussi (et nous serions personnellement porté à admettre qu'il en est ainsi), peut-être est-ce l'énergie qui détermine la grandeur de l'action, c'est-à-dire le produit de la quantité d'électricité par la chute de potentiel.

Nous ferons remarquer en passant qu'il existe quelques notions analogues pour les effets produits par la chaleur. L'importance des brûlures est déterminée bien plus par la température (qui correspond au potentiel) que par la quantité de chaleur.

Pendant le contact, même court, il faut concevoir d'ailleurs que le corps ainsi placé en dérivation dans le courant a participé aux variations de grandeur du potentiel qui se manifestait dans les fils par suite des courants alternatifs, et que son potentiel a dû passer très rapidement par des valeurs très différentes.

Et d'ailleurs, pour expliquer la mort, il n'est pas nécessaire de supposer une action bien énergique : l'électricité n'a pas produit directement des désordres matériels graves, pouvant être par eux-mêmes la cause de la mort. Les brûlures qu'on a constatées, seules conséquences immédiates de l'action de l'électricité, n'avaient par elles-mêmes aucune gravité. L'électricité a agi indirectement en suspendant en partie l'action du système nerveux, et c'est cette suspension qui est la cause de la mort. L'action qui se

manifeste dans ce cas est comparable à celle d'un cliquet que le plus faible effort suffit à déplacer et qui, tombant sur une roue dentée, suffit pour immobiliser une puissante machine, il n'y a aucune relation entre la grandeur de la cause et celle de l'effet produit.

Il peut sembler, mais c'est un point que nous n'abordons que sous toutes réserves, que l'action sur le système nerveux à laquelle nous faisons allusion serait celle de l'électricité sur les parties supérieures de la moelle, ce qui s'accorderait bien avec la manière dont ont été atteints Kenarec et Martin.

Disons en passant que les brûlures observées doivent être dues à la décharge qui s'est produite entre le fil et la peau lors de la séparation et non au contact du fil que le courant aurait échauffé. Outre qu'un fil de cuivre rouge, de six millimètres de diamètre environ, surtout placé en plein air, la nuit, ne peut guère s'échauffer de plus de quelques degrés, il est à signaler que le témoin Hubert (Charles), qui a touché le fil, n'a point indiqué qu'il eût perçu une élévation de température appréciable.

Nous ne croyons pas avoir à insister sur les résultats des autopsies faites, l'une à la Morgue, l'autre au Gros-Caillou, résultats qui sont consignés dans les rapports de MM. les docteurs Brouardel et Bourot, rapports desquels nous retiendrons seulement, comme nous l'avons déjà dit, qu'il n'existait aucune lésion matérielle causée par l'électricité et susceptible d'occasionner directement la mort. Nous ajouterons également que nous avons procédé à l'examen spectroscopique du sang du sieur Martin, qui a présenté les caractères que possède normalement ce liquide.

Les fils conducteurs étaient-ils convenablement posés? — L'installation du fil dans le jardin des Tuileries en dehors du fossé nous a paru sans contestation à l'abri de tout reproche : tous les fils susceptibles d'être touchés par le public étaient suffisamment garnis et isolés, les fils nus étaient à une hauteur telle qu'on ne pouvait aucunement les atteindre.

En ce qui concerne les fils placés dans le saut-de-loup ou fossé, où s'est produit l'accident, rien n'obligeait à employer l'un des fils nus, et évidemment les deux eussent dû être couverts. Il est urgent de faire remarquer que ces deux fils, l'un nu, l'autre couvert, étaient absolument hors de portée de la main des personnes placées dans le jardin des Tuileries, qui, même en se penchant sur la balustrade, ne pouvaient les atteindre. Il est certain que si l'on admet que le public pouvait librement circuler dans le fossé, les précautions étaient insuffisantes et que les deux fils eussent dû être garnis.

Il résulte de la déposition de M. Sappey, ingénieur de la mai-

son Siemens, qui a fait poser les fils, qu'il avait été entendu que le public ne serait admis ni dans le fossé ni même sur les pelouses qui le bordent. C'est là un point que nous n'avons pas à apprécier.

Nous devons dire toutefois que si les ingénieurs qui ont fait procéder à l'installation avaient pu penser que le public serait admis dans le fossé, ils se seraient certainement gardés d'y placer des fils à hauteur d'homme, non pas dans la crainte des accidents qu'on eût pu éviter en employant des fils garnis, mais dans le but d'éviter les effets de la maladresse et de la malveillance qui, en produisant la rupture ou la section de l'un des deux fils, eussent amené l'extinction des 12 lampes et plongé dans l'obscurité le tiers du jardin des Tuileries. Il eût été facile d'éviter ces inconvénients possibles en faisant passer le fil en l'air, ce qui eût exigé au plus la pose d'un poteau supplémentaire ; le fait de n'avoir pas eu recours à cette disposition nous paraît montrer jusqu'à preuve contraire que le fossé a été considéré comme un lieu où le public ne devait point avoir accès.

Conclusions. — 1° Les conditions dans lesquelles se sont trouvés les sieurs Martin et Kenarec en touchant, dans des conditions déterminées, des fils conduisant un courant électrique puissant, suffissent pour expliquer la mort.

2° Si l'on admet que le public ne devait point avoir un libre accès dans le fossé où Martin et Kenarec ont trouvé la mort, l'installation des fils donnant passage au courant électrique était faite conformément à ce qu'exigent la science et la prudence.

Au moment de commencer la série d'expériences dont nous ne donnerons ici qu'un résumé, nous avons dû examiner la question de résistance des tissus vivants au passage du courant. Nous n'avons pas tardé à acquérir la preuve que ces résistances sont variables non seulement d'une partie à une autre d'un même individu, mais d'un individu à l'autre, et que pour un même individu la résistance est variable suivant la température, le degré d'humidité des surfaces examinées, et nous avons constaté que les mesures de ce genre, excellentes pour donner une idée de l'ordre de grandeur de ces résistances, ne pouvaient avoir aucun caractère de précision.

C'est ainsi que des grenouilles de même taille peuvent présenter des différences de 6,000 à 17,000 ohms.

L'homme nous a montré, chez différents sujets, des différences de 6,000 à 90,000 ohms.

Quelles que soient les raisons de ces variations, on ne peut que dresser un tableau de ces valeurs. Il faut dans chaque cas mesurer soigneusement les résistances en unités électriques en se servant des rhéophores mêmes qui serviront à l'expérience, appliqués aux mêmes points et de la même façon. Il est très important d'intercaler dans le circuit un galvanomètre étalonné et de connaître les constantes de la pile dont on se sert. Ce n'est que de cette façon, définissant exactement les conditions de chaque expérience, qu'on pourra dans la suite tirer de ces expériences des résultats raisonnables, et nous nous proposons, dans un travail prochain, de donner les résultats auxquels nous aura conduit cette étude.

Dans une première série d'expériences nous avons fait usage du courant de huit éléments Bunsen grand modèle, courant que nous avons appliqué à des grenouilles ; les effets ont toujours été les mêmes : nous avons produit par le passage du courant pendant 15 à 25 secondes des attaques tétaniques, avec arrêt de la respiration et du cœur, puis, après 20 à 40 secondes de repos, la respiration d'abord puis les battements du cœur ont reparu. Dans tous les cas, dans ces conditions, le courant de huit éléments Bunsen n'a pu provoquer la mort d'une grenouille.

Nous avons employé dans les mêmes conditions le courant d'une bobine de Ruhmkorff (celle du cabinet de physique de la faculté de médecine, que M. le professeur Gariel a bien voulu mettre à notre disposition), et dans tous les cas nous n'avons pu que produire des attaques de tétanos, avec arrêt de la respiration et des battements du cœur, sans parvenir à provoquer la mort. Employant ensuite les étincelles de cette même machine, longues de 25 à 30 centimètres, pendant des temps variant entre 15 à 45 secondes, nous avons produit l'arrêt de la respiration et du cœur et un peu de stupeur ; mais la survie a été constatée dans tous les cas.

De la même façon, sur un chien de petite taille, le courant de la bobine de Ruhmkorff appliqué pendant 15 à 45 secondes nous a permis de constater l'arrêt de la respiration et des battements du cœur, attaques tétaniques auxquelles l'animal a toujours survécu soit que les rhéophores aient été placés sur ou sous la peau, et cela pour nous mettre à l'abri de la mauvaise conductibilité de cette dernière. Implantant une aiguille mousse à travers les os du crâne jusque sur les enveloppes du cerveau, nous avons fait jaillir les grandes étincelles de la bobine pendant 10, 15, 30, 50 secondes sans résultat nouveau, enfin nous avons provoqué une attaque tétanique très vive par le passage des étincelles pendant 55 secondes; le chien ne pouvant plus se soutenir a été sacrifié, et voici ce qu'il nous a été donné de constater.

Le cerveau est examiné presque immédiatement après la mort. Sur l'hémisphère droit, le pli supérieur de la 3e circonvolution sagittale et la quatrième circonvolution dans sa partie postérieure, à environ 7 millimètres en avant du bord postérieur de l'hémisphère, présente à la dure-mère un trou cylindrique entouré d'une légère auréole inflammatoire. La pie-mère est injectée de sang rouge-cerise qui forme une plaque longue de 14 millimètres et large de 9 millimètres.

Des traînées rougeâtres se prolongent en avant et en arrière le long du sillon qui sépare la 3e circonvolution de la 4e. L'hémisphère gauche ne présente extérieurement rien de particulier, si ce n'est une légère injection. — Nous avons fait des coupes sur les hémisphères et à 8 millimètres de profondeur, on voit une plaque fortement injectée sur laquelle nous remarquons trois points beaucoup plus injectés; au milieu de la plaque se trouve un noyau hémorrhagique de 3 millimètres de diamètre. La plaque hémorrhagique est entourée du côté du bord interne de l'hémisphère d'une auréole beaucoup plus pâle. La distance de cette plaque à la corne postérieure est de 5 millimètres. La partie postérieure des 3e et 4e circonvolutions présente un piqueté

hémorrhagique situé tout à fait au bord de la coupe en forme de traînée, qui se prolonge d'arrière en avant jusque vers la scissure dite de Rolando.

Sur une coupe faite 1 millimètre plus bas, la plaque hémorrhagique s'élargit en avant et mesure 8 millimètres de long sur 5 millimètres de large; au voisinage du ventricule elle est plus pâle et la coupe ne montre aucun piqueté dans le voisinage. Dans une coupe faite au-dessous, à 2 millimètres environ, la plaque, de mêmes dimensions, devient plus pâle. Le ventricule droit ouvert montre la veine occipitale engorgée. Le corps strié ne présente aucun piqueté.

De ce qui précède nous croyons pouvoir conclure que les étincelles de la bobine ont lésé l'hémisphère dans une profondeur de 12 à 15 millimètres et ont produit une inflammation qui s'est propagée par voisinage jusque vers la partie antérieure de l'hémisphère. Par la veine occipitale, cette inflammation s'est propagée jusqu'à la base du cerveau. La section longitudinale du bulbe ne nous montre aucune lésion appréciable.

Dans une autre série d'expériences, sur des cobayes cette fois, nous avons obtenu des résultats identiques, même en employant des courants dont la différence de potentiel était de 30 à 40 volts; mais les animaux en expérience se sont montrés très péniblement impressionnés lorsque nous avons introduit dans le circuit la roue interruptrice de Masson.

Avec ce dispositif nous sommes parvenu à arrêter la respiration et à provoquer la mort d'un rat pesant 290 grammes; le courant était d'une intensité de 18 milliampères, et l'animal présentait une résistance de 8,870 ohms. A l'autopsie nous avons trouvé le cerveau congestionné et la substance cérébrale légèrement adhérente aux méninges, les poumons très petits sont couverts de nombreuses ecchymoses sous-pleurales, diffuses et petites, à bords mal limités; le sang contenu est liquide, poisseux, noir. Les poumons sont très congestionnés. Le péricarde est vide, les parois du cœur sont ridées,

flasques, contractées, mais incomplètement en systole. Il n'y a pas de caillots dans les cavités du cœur qui contient du sang noir liquide. Un autre rat pesant 180 grammes et présentant une résistance de 9,670 ohms a été tué par un courant appliqué sous la peau pendant 15 secondes, avec une différence de potentiel de 50 volts.

Nous avons trouvé à l'autopsie les méninges adhérentes à la substance cérébrale. Le bulbe est le siège d'un piqueté hémorrhagique assez intense. Il y a de nombreuses ecchymoses sous-pleurales avec sang contenu noir et poisseux, poumons très congestionnés. Le cœur est flasque, sans caillots, avec quelques gouttes de sang noir dans les cavités. L'intestin est un peu congestionné.

Parmi les expériences qu'il nous a été permis de faire dans les ateliers de la Société Lyonnaise pour l'éclairage électrique (grâce à la bienveillance de M. Lan, ingénieur en chef, professeur à l'École des Mines, grâce au concours de M. Cohendet, directeur de l'Usine, de M. Sappey, ingénieur de la Société, et de M. Weiss, ingénieur des ponts et chaussées), nous ne citerons que les suivantes.

I. Nous avons pu disposer pendant quelques heures d'une machine de seize chevaux-vapeur, actionnant une machine Brusch, à courants continus, alimentant seize foyers Brusch, excitée elle-même par une autre machine Brusch plus petite.

Le circuit contenait seize foyers Brusch en activité, c'est dans ce circuit que nous avons introduit un chien du poids de 5 kilos — de la patte gauche antérieure à la patte postérieure gauche.

Nous avons mesuré la résistance entre les deux points où étaient attachés les rhéophores, elle était de 50,000 ohms ; aux mêmes points, mais sous la peau, la résistance n'était plus que de 5,000 ohms. Puis nous avons fait passer le courant par le corps de l'animal en coupant le circuit principal par une ou deux interruptions très courtes, la mort a été instantanée.

Dans cette expérience la différence de potentiel étant de 800 à 850 volts et la résistance du chien de 50,000 ohms, tout en négligeant la résistance de la machine qui ne dépassait pas 10 ohms, on voit que l'intensité du courant était extrêmement faible puisqu'elle avait pour valeur $800/50,000 = 16$ milliampères. Ce courant, qui

peut être appliqué sans inconvénient aux malades, n'a pu causer la mort par son intensité. On ne peut incriminer en ce cas que la variation brusque de potentiel.

Autopsie. — Le cerveau mis à nu nous présente les méninges très congestionnées, les vaisseaux sont gorgés de sang noirâtre. La section longitudinale du bulbe nous présente un piqueté hémorrhagique général intense, avec une traînée hémorrhagique plus colorée longue de 8 millimètres. Toute la moitié droite est le siège d'un piqueté hémorrhagique disséminé. Les hémisphères droit et gauche, surtout vers les cornes postérieures, présentent près du bord de la coupe de nombreuses taches hémorrhagiques de 1/2 millimètre à 1 millimètre de diamètre, et sur la partie antérieure des taches semblables, moins nombreuses et d'une couleur moins foncée. Les vaisseaux sont tous très engorgés.

La trachée ne contient qu'un peu de spume légèrement teintée de sang. Les poumons sont absolument couverts d'ecchymoses sous-pleurales très foncées disséminées. Le tissu pulmonaire peu crépitant contient du sang noir. Le péricarde est vide. Le cœur en diastole est mou, relâché, contient du sang noir et un petit caillot dans le ventricule gauche. Le ventricule droit est plein de sang noir et l'auricule droite est remplie de sang noir mêlé de caillots.

Les intestins, le foie et les reins sont congestionnés.

Le sang a une teinte générale foncée et présente une réaction acide, de plus il contient un peu de sucre. On voit que la lésion principale est ici une sorte d'hémorrhagie bulbaire disséminée, dont le retentissement sur la respiration et la circulation semble être la cause de la mort.

II. Dans une autre expérience, sur un chien pesant 8 kilogr. et dont la résistance sur le poil, de la patte gauche antérieure à la patte droite postérieure, a été trouvée de 80,000 ohms, nous avons fait passer le courant tout entier de la grande machine (non excitée cette fois) et donnant une différence de potentiel de 800 volts. Cette expérience ne donne aucun résultat, la machine se désamorçant aussitôt que l'animal est introduit dans le circuit par suite de la grande résistance de l'animal (80,000 ohms).

La grande machine Brusch étant disposée de façon à être excitée par la petite, et le circuit de cette dernière étant provisoirement interrompu, nous avons mis la machine en marche. Le magnétisme rémanent a causé un courant qui a fait pousser quelques cris plaintifs au chien au début du passage du courant, puis l'animal est devenu tranquille ; à ce moment il a suffi de fermer brusquement le circuit excitateur pour que la mort ait été instantanée. L'autopsie nous a permis de constater qu'il y a dans le crâne très peu

de liquide céphalo-rachidien, le cerveau est un peu adhérent, a ses enveloppes très congestionnées et dont les vaisseaux sont pleins de sang noirâtre. Il y a engorgement des ventricules latéraux, et vers les cornes postérieures, les vaisseaux sont très engorgés; les hémisphères semblent sains, mais le bulbe est le siège d'une hémorrhagie capillaire disséminée dans toute sa substance.

Les poumons sont couverts d'ecchymoses sous-pleurales foncées, le tissu pulmonaire très peu crépitant laisse échapper à la coupe du sang noir. Péricarde contenant quelques gouttes de sérosité. Le cœur en diastole, relâché, mou, contient dans les deux ventricules du sang noir avec de petits caillots. Les intestins, le foie, les reins sont congestionnés. Le sang, de couleur générale noirâtre, est poisseux, acide, il contient des traces de sucre. Nous retrouvons ici les mêmes lésions que dans l'autopsie précédente, le bulbe seul est atteint d'une hémorrhagie capillaire plus intense. Pour nous, c'est cette hémorrhagie qui a été la cause de la mort.

III. Nous avons placé un chien pesant 25 kilogr. en dérivation sur le circuit actionnant 16 lumières Brusch, la patte droite antérieure et la patte droite postérieure étaient les points où agissait le courant; entre ces mêmes points, la résistance mesurée était de 90,000 ohms. Nous avons fait passer le courant en l'interrompant un très grand nombre de fois pendant 2 secondes : des eschares se sont produites aux points de contact; puis, une ou deux minutes après, l'animal a été tué instantanément par le passage du courant de la gueule à la patte postérieure. Le cerveau est très congestionné dans ses enveloppes dont les vaisseaux sont pleins de sang noir. Les hémisphères sont le siège d'un piqueté hémorrhagique assez intense, les ventricules sont très engorgés, le bulbe est ici le siège d'une hémorrhagie capillaire véritable, dissociant pour ainsi dire les éléments du bulbe. Cette hémorrhagie, la plus considérable que nous ayons observée, doit s'expliquer par le passage plus prolongé du courant, d'abord d'une patte à l'autre pendant 2 secondes, car l'animal n'a été tué qu'après que nous avons appliqué l'un des rhéophores dans la gueule où l'on remarque du reste des traces de brûlure. Le sang est noir, acide, et contient du sucre en quantité assez notable, qui pour nous s'est produit entre le premier ébranlement du bulbe par le courant et le moment où un nouveau courant a provoqué la mort.

Nous ne donnerons pas le reste de l'autopsie, qui ne serait qu'une répétition des deux précédentes. Pour nous la mort se trouve expliquée ici par la véritable hémorrhagie bulbaire dont nous venons de parler.

IV. Dans une dernière expérience sur un chien pesant 13 kilogr.

le courant en dérivation est appliqué aux deux pattes antérieures. Le courant fréquemment interrompu est fermé sur le chien dont la mort est instantanée. Ici le cerveau est congestionné, les hémisphères présentent un piqueté hémorrhagique assez intense, il n'y a pas d'engorgement des ventricules, le bulbe est le siège d'un piqueté hémorrhagique foncé, disséminé dans toute sa substance. Les poumons sont gorgés de sang noir avec des ecchymoses sous-pleurales, cœur en diastole, rempli de sang noir avec de petits caillots.

Conclusions. — Le bulbe rachidien nous paraît être le point de l'encéphale le plus sensible à l'action des courants électriques intenses. Cet organe agissant comme centre d'innervation exerce son influence sur la respiration, puisque la destruction isolée d'un faisceau intermédiaire du bulbe en produit la suspension instantanée. Or, dans toutes nos expériences, la respiration a été suspendue, même avec des courants d'intensité très faible.

Le bulbe exerce aussi son action sur le cœur par l'intermédiaire du pneumogastrique, et nous avons toujours trouvé le cœur dans le relâchement.

Le bulbe est donc la partie de l'encéphale sur laquelle se porte surtout l'action du courant, et, dans chacune de nos autopsies, nous avons trouvé qu'il était le siège, soit d'un piqueté hémorrhagique intense, soit d'une hémorrhagie capillaire parfaitement capable d'expliquer la mort.

Au point de vue physique, il semble résulter clairement de toutes ces expériences, que c'est la variation brusque de potentiel qui agit d'une façon dangereuse sur l'organisme, puisque la mort instantanée a été produite par des interruptions multiples d'un courant qui, non interrompu, est parfaitement supporté. Nous croyons pouvoir en conclure que les générateurs électriques à courants alternatifs sont incomparablement plus dangereux que ceux à courants continus, et cela pour deux raisons :

1° Parce que l'effet dangereux, qui, avec les courants continus, n'existe qu'au moment initial, se prolonge avec

les courants alternatifs pendant toute la durée du passage du courant;

2° Parce qu'à égale force électromotrice, les générateurs à courants alternatifs produisent une variation de potentiel double de celle que produisent les générateurs à courants continus.

Qu'il nous soit permis de tirer de tous les faits qui précèdent une dernière conclusion : c'est qu'il est nécessaire de réglementer l'emploi industriel des courants intenses. Nous ne saurions mieux faire au surplus que de reproduire le passage suivant du rapport de M. le professeur Gariel, aux conclusions duquel nous nous associons complètement :

« Les accidents du genre de ceux qui se sont produits le 6 août ne sont pas absolument rares, et l'on en connaît plusieurs exemples en France, en Angleterre, en Autriche. Il n'est pas douteux que, avec l'extension de l'emploi du courant électrique pour transporter à distance l'énergie sous toutes ses formes, les accidents analogues ne se multiplient, si l'on ne parvient à les empêcher par une réglementation qui devra écarter en même temps les causes d'incendie provenant des courants. »

« Des règlements de ce genre ont été proposés en Amérique et en Angleterre. En Amérique, le règlement auquel nous faisons allusion est imposé par certaines compagnies d'assurance aux usines éclairées à la lumière électrique Angleterre, ils émanent, à titre de conseil, de la « Society telegraph enginers and electricians ». Ils ne nous paraissent pas assez complets pour qu'on puisse en proposer l'adoption, mais il conviendrait d'établir au plus tôt un règlement qui deviendrait obligatoire. »

« Pour l'établissement de ce règlement, qui exigerait des connaissances très spéciales, on pourrait, par exemple, charger de l'étude de la partie spéciale la Société française de Physique, qui, renfermant à la fois des physiciens, des ingénieurs et des directeurs d'usine, fournirait sans peine les

éléments d'une commission absolument compétente à tous égards. »

Je dois ajouter qu'en ce moment, j'étudie avec MM. les professeurs Brouardel et Gariel les conditions dans lesquelles la mort peut être le résultat du contact d'êtres vivants avec les circuits électriques. Nous espérons pouvoir donner bientôt les résultats complets des expériences (1) actuellement en cours.

(1) Voir *Comptes rendus de la Société de Biologie* (séance du 29 novembre 1884).

Extrait
des *Annales d'hygiène publique et de médecine légale*,
publiées par J.-B. BAILLIÈRE ET FILS.
Avril 1885, tome XIII.

3435-85. — Corbeil. — Typ. et Stér. Crété.

G. Mercier Chromo   Imp. E. Fraillery. Paris.

G. Mercier Chrom[o] Imp. E. Fraillery. Paris.

CORBEIL. typ. et stér. CRÉTÉ.

